EXTRAIT DU JOURNAL DE L'ANATOMIE ET DE LA PHYSIOLOGIE
DE M. CH. ROBIN. (N° de juillet 1870.)

5

DE
LA LOI DES ROTATIONS DU GLOBE OCULAIRE
DANS LES MOUVEMENTS ASSOCIÉS DES YEUX

RÉFLEXIONS SUR LE CHAPITRE CONSACRÉ A CETTE QUESTION
DANS L'OPTIQUE PHYSIOLOGIQUE DE M. HELMHOLTZ (1)

Communiquées à l'Académie des sciences, dans la séance du 25 avril 1870.

Par **M. GIRAUD-TEULON.**

§ 1. — Lois de Donders.

Le point de départ de cette étude est la loi établie par Donders sur les inclinaisons que prennent, ou ne prennent pas, les méridiens primaires, dans les mouvements associés des yeux, lorsqu'ils se portent, en parallélisme, soit dans les directions cardinales, soit dans les directions obliques ou intermédiaires. Cette mémorable loi est contenue dans les propositions suivantes, dont la netteté ne laisse rien à désirer.

I. Dans tous les mouvements associés en parallélisme, les méridiens primaires (2) ou cardinaux des deux yeux demeurent toujours respectivement parallèles.

II. Dans les directions cardinales, soit horizontale, soit verticale, ces méridiens demeurent en outre parallèles à eux-mêmes dans les deux positions extrêmes, initiale et terminale.

III. Dans les directions obliques du regard, ces mêmes méridiens primaires, toujours respectivement parallèles à droite et à gauche, s'inclinent sur leur direction initiale ou primordiale, d'un certain angle déterminé uniquement par le degré même de l'obliquité et de la hauteur du regard (c'est-à-dire par la grandeur des angles ascensionnel et latéral).

(1) Traduction d'É. Javal et Klein, pages 604 et suiv.

(2) Nous nous servirons ici des notations et définitions mêmes de M. Helmholtz.

Le sens de cette inclinaison porte l'extrémité du méridien vertical ou *sagittal*, la plus voisine du point de mire, *du côté de ce même point de mire.*

Il résulte en outre implicitement des conséquences tirées par Donders des propositions qui précèdent, que, dans ces mouvements obliques, l'inclinaison du méridien primaire vertical entraînerait l'inclinaison *dans le même sens* du méridien cardinal horizontal, lié au premier par un angle dièdre constant (droit).

Remarquables conséquences de ces lois.

Une des premières conséquences de ces propositions fut que, contrairement à l'opinion de Hunter et de Huecke, les méridiens primaires des yeux conservent, lors des mouvements de la tête, leurs rapports primordiaux avec les axes de celle-ci, et que leurs inclinaisons sur ces derniers ne dépendent que de la position de la ligne de regard par rapport à la tête.

(Nous avons, plus tard il est vrai, démontré la même proposition par la considération des mouvements du spectre étoilé du cristallin, dont les axes demeurent fidèlement liés à ceux de la tête pendant les inclinaisons de celle-ci.)

Mais l'immense avantage de ces remarquables lois a été de jeter un jour inattendu sur la mécanique des mouvements oculaires, devenue aujourd'hui, grâce à elles, une théorie aussi élégante que fertile en conséquences, et qu'une discordance scientifique, non signalée jusqu'ici, menacerait de renverser.

Qu'on nous permette donc d'exposer les éléments de ce procès latent, mais dont le sommeil ne saurait être de durée.

§ 2. — Formule des mêmes lois suivant Helmholtz.

Les lois de Donders que nous venons de rappeler ont trouvé leur exposition dans le magnifique traité d'optique physiologique dû au génie d'Helmholtz. Elles y ont reçu une formule plus concise et plus compréhensive, — sinon plus compréhensible, que voici :

« Lorsque les lignes de regard sont parallèles, l'angle de *tor-*

sion de chaque œil n'est fonction que de l'angle ascensionnel et de l'angle latéral. »

Pour être complète, cette proposition eût dû être suivie du correctif suivant :

« Mais la torsion est *nulle*, si l'*un* de ces angles est *nul*, c'est-à-dire dans les mouvements cardinaux. »

Mais ce n'est pas des mouvements cardinaux qu'il s'agit ici, — sur ces derniers, tout le monde est d'accord. Quant aux mouvements intermédiaires, diagonaux ou obliques, c'est une autre question, et c'est de ceux-ci que nous allons nous occuper.

Et d'abord, comment sont-ils exposés par M. Helmholtz?

Mouvements obliques. Résumé de M. Helmholtz.

« Lorsque l'angle ascensionnel et l'angle latéral sont tous les deux de même signe, la torsion est négative ou inverse; s'ils sont de signes contraires, la torsion est positive ou directe » ; ce qui, rapproché des notations de l'auteur (1), et appliqué par lui aux inclinaisons du méridien primaire horizontal, signifie que :

» Le méridien primaire horizontal, lors d'une direction oblique du regard dans le quadrant de midi à trois heures, ou dans son opposé par le sommet (mouvement direct), s'inclinerait dans le sens négatif ou inverse, ou contraire à celui de la marche des aiguilles de la montre. »

Or, nous venons de voir que, d'après Donders, le méridien vertical primaire se porterait, — *dans le même cas*, — dans l'inclinaison positive ou directe.

Les observations des deux auteurs sont donc en opposition, ou bien il faut conclure que, lors d'un même mouvement de l'œil, les deux méridiens primaires s'inclinent en sens contraire l'un de l'autre.

Mais quelle singulière torsion cette dernière hypothèse ne

(1) Le mouvement du regard étant considéré comme *positif* quand il suit le sens du mouvement des aiguilles d'une montre, et *négatif*, quand il se porte en sens opposé, les inclinaisons des méridiens seront dites aussi *directes* quand elles s'exerceront dans le sens du mouvement des aiguilles, *inverses*, dans le cas contraire. L'inclinaison sera comptée dans la partie du méridien qui accompagne la ligne du regard.

force-t-elle pas à concevoir dans l'œil en mouvement et quelles déformations peu acceptables ne devrait-elle pas entraîner!

N'y aurait-il pas plutôt ici quelque erreur de notation, un malentendu quelconque de la part de l'auteur? Aucunement. M. Helmholtz décrit les observations expérimentales mêmes qui ont servi de bases aux propositions sus-énoncées, mais sans faire remarquer toutefois les contradictions implicites qu'elles renferment et que nous nous proposons de relever d'abord et de résoudre ensuite si nous pouvons.

Voici en effet l'exposition expérimentale donnée par l'auteur :

« Pour constater les faits que nous venons de mentionner, dit M. Helmholtz, le mieux est de se servir des images accidentelles, comme Ruete l'a proposé le premier. On se place en face d'un mur dont la tenture présente des lignes horizontales et verticales bien visibles, sans que le dessin soit assez marqué pour empêcher d'y distinguer facilement des images accidentelles; le fond le plus commode est un gris pâle et mat. En face de l'œil observateur et à sa hauteur, on tend horizontalement un ruban noir ou coloré, de deux à trois pieds de long, et qui tranche fortement sur la couleur de la tenture. Pour assurer la position de la tête, il est bon d'appuyer fortement l'occiput; il faut faire en sorte qu'elle ne soit inclinée ni à droite, ni à gauche : le plan médian de la tête doit être maintenu vertical et perpendiculaire au mur. On reconnaît facilement si le plan médian de la tête est vertical, en louchant de manière à obtenir de doubles images du ruban noir : ces images doivent se trouver sur une même ligne droite.

» Si, après avoir fixé invariablement pendant un peu de temps, le milieu du ruban, on dirige brusquement le regard, sans déplacer la tête, sur une autre partie de la muraille, on y voit une image accidentelle du ruban, et, en comparant cette image avec les lignes horizontales de la tenture, on reconnaît si elle est horizontale ou non. L'image accidentelle elle-même est développée sur les points de la rétine qui font partie de l'horizon rétinien, et désigne, pendant les mouvements de l'œil, les parties du champ visuel où se projette l'horizon rétinien. »

« L'intersection du plan de regard avec le mur est nécessaire-

ment horizontale, tant que la tête de l'observateur est dans la position indiquée, où la ligne qui joint les deux centres de rotation est horizontale et parallèle au plan de la muraille. Les lignes horizontales de la tenture donnent donc la *projection* du plan de regard sur la tenture, et l'horizon est tourné par rapport au plan du regard, comme l'image accidentelle par rapport à ces lignes horizontales. » (Helmholtz, p. 603.)

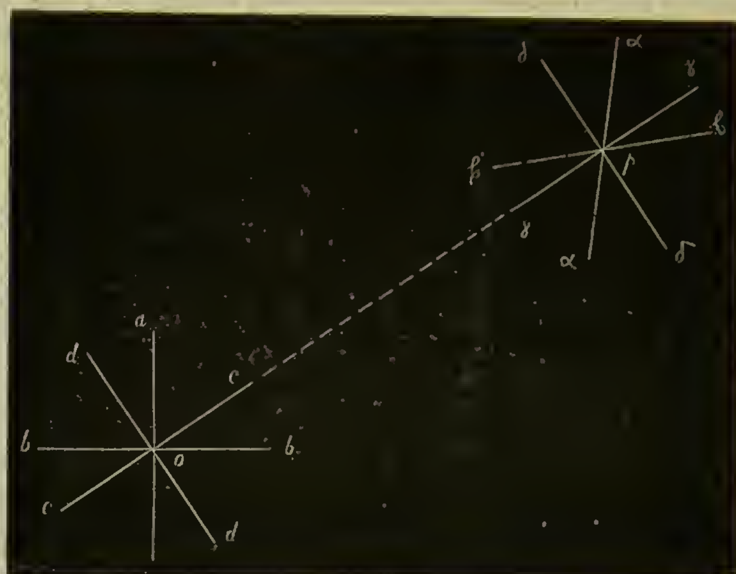
Passant à l'expérience, l'auteur ajoute : « Nous trouvons alors que lorsque la position de la tête est convenable, et qu'on regarde directement en haut, en bas, à droite ou à gauche (c'est-à-dire dans les plans cardinaux), l'image accidentelle du ruban horizontal se confond avec les lignes horizontales de la tenture.

» Mais lorsqu'on porte le regard *en haut et à droite*, ou *en bas et à gauche*, l'image (il s'agit toujours du ruban horizontal) tourne vers la *gauche*, c'est-à-dire que son extrémité gauche est plus bas que l'autre, toujours en comparaison des lignes horizontales de la tenture ; l'inclinaison est inverse, si le regard est porté dans l'un des deux autres quadrants ; le sens de ces rotations est d'ailleurs exactement le même pour les deux yeux.

» Si l'on tend maintenant le ruban verticalement et que l'on compare de la même manière son image accidentelle avec les lignes verticales de la tenture, on obtient des rotations qui paraissent être (mieux que cela, qui sont bien manifestement) d'un sens contraire à celui que nous venons de voir. En effet, si l'on regarde à droite et en haut, l'image accidentelle ne paraît pas tourner vers la *gauche*, mais bien vers la droite, par rapport aux lignes verticales de la tenture. — *Mais de là on ne peut pas conclure à une rotation de l'œil dans le sens direct, car, dans ce cas, les lignes verticales de la tenture ne se confondent pas avec la projection sur le mur, d'une perpendiculaire au plan du regard; celle-ci* (la perpendiculaire) *paraîtrait, au contraire, tournée dans le même sens que l'image accidentelle et d'un angle plus considérable que cette image.* »

La figure ci-contre donne le tableau exact du phénomène observé ; elle représente les marques laissées sur un plan vertical, parallèle au plan transversal de l'observateur, par les images accidentelles de l'expérience.

Les lignes *aa*, *bb* reproduisent les traces des deux méridiens primaires dans la position initiale ou de repos ; les lignes αα, ββ les traces de ces mêmes méridiens sur le même plan, lors de la



position terminale. (Le regard est ici supposé dirigé en haut et à droite.) (La signification des lignes *cc* et *dd*, γγ et δδ, sera donnée page 365.)

§ 3. — Opposition évidente des formules de Donders et de Helmholtz.

Nos propres expériences, scrupuleusement calquées sur celles dont la description précède, nous avaient fourni les mêmes résultats (expérimentaux) qu'à M. Helmholtz. Comme lui, nous avions reconnu « que, dans les plans cardinaux, les images consécutives conservent la position horizontale ou verticale des images primitives ; mais que cela n'a plus lieu lorsqu'on dirige le regard obliquement en haut ou en bas. On trouve, au contraire, que :

1° Si l'on dirige le regard à *droite* et en *haut*, ou à *gauche* et en *bas*, l'image consécutive d'une ligne *horizontale* paraît tourner à *gauche* ; celle d'une ligne *verticale* paraît tourner à *droite*, par rapport aux lignes du mur.

2° Et si l'on dirige le regard à *gauche* et en *haut*, ou à *droite* et en *bas*, l'image accidentelle d'une ligne *horizontale* paraît tourner à *droite* ; celle d'une ligne *verticale* paraît tourner à *gauche*.

Nos conclusions cependant différaient notablement de celles de l'illustre professeur, et parmi les conséquences logiques de ces expériences, une entre autres nous tourmentait sensiblement.

Quelle torsion subit donc le globe oculaire, nous disions-nous, lors de ce mouvement diagonal ou oblique, si ses deux méridiens primaires, l'horizontal et vertical, sont dans le *même temps* obligés de s'incliner l'un à droite, l'autre à gauche?

Que devient, dans ce conflit, la loi de Donders? Quelles vont être les nouvelles lois physiologiques imposées aux moteurs de l'œil? Car pouvons-nous admettre que les mêmes actions musculaires qui expliquent rationnellement les inclinaisons des méridiens primordiaux dans un sens donné, et le même pour les deux, rendent également un compte satisfaisant de leurs torsions en sens contraire? Comment M. Helmholtz a-t-il pu laisser passer cette magistrale contradiction? Une discordance aussi compromettante pour la physiologie des mouvements de l'œil, pour la détermination des anomalies pathologiques survenues dans ces mouvements, pouvait-elle donc être considérée comme non existante? Le noir et le blanc admis ainsi côte à côte, sans récrimination de l'un à l'autre!

M. Helmholtz ajoutait, il est vrai :

« Il est à peine besoin d'ajouter que la *restriction* que nous venons d'apporter à la loi de Donders ne porte aucune atteinte aux déductions que nous en avons tirées : car, pour toute position donnée de la tête, à une position déterminée de la ligne visuelle, correspond toujours une valeur déterminée de la torsion. » (Page 671.)

Restriction! N'y a-t-il là qu'une restriction? ou bien les mêmes mots ont-ils une valeur différente dans nos langues respectives?

Si, comme le pense M. Helmholtz, les deux méridiens primaires s'inclinent, lors d'une même direction oblique du regard, l'un à droite, l'autre à gauche, et que pour établir les lois des mouvements du globe, il interroge les inclinaisons du méridien horizontal, pendant qu'un autre physiologiste adoptera celles du méridien vertical, n'y aura-t-il pas entre eux contradiction absolue?

Les inclinaisons du globe dans un sens ne supposent-elles pas un mécanisme non-seulement différent, mais absolument contraire à celui qui détermine les torsions opposées?

Or si, d'une part, Donders a fondé sa belle théorie des mouvements oculaires sur les enseignements fournis par le méridien vertical, c'est, d'autre part, comme on vient de le voir, assurément aux données apportées par les rotations du méridien horizontal que s'est exclusivement attaché M. Helmholtz.

De quel côté est donc la vérité? C'est ce que nous allons chercher à établir.

§ 4. — Dans le système des projections obliques sur un plan vertical, le sens véritable des torsions oculaires était-il indiqué par les inclinaisons du méridien horizontal, ou, au contraire, par celles du méridien vertical?

C'est donc le méridien horizontal (primaire) dont les variations vont être observées par M. Helmholtz; il négligera celles du méridien perpendiculaire, « parce que, dit-il, la perpendiculaire au » plan de regard ne se confond pas en projection avec les lignes » verticales de la tenture. Celle-ci (la perpendiculaire au plan » de regard) paraîtrait, au contraire, tournée dans le même sens » que l'image accidentelle, et d'un angle même plus considérable » que cette image. »

Il est certain que la perpendiculaire au plan de regard ne peut se confondre en projection avec les verticales de la tenture, et même que la projection de cette ligne sur le plan vertical paraîtrait, ainsi que le dit l'auteur, inclinée dans le même sens que l'image accidentelle horizontale (pour *un* œil, du moins; le droit, dans l'expérience en question). Mais cela ne touche en rien au point en discussion, et il y a eu ici confusion. Ce n'est pas, en effet, de la perpendiculaire au plan de regard (*binoculaire*) qu'il s'agit dans l'expérience, mais des *traces* laissées sur la tenture par les *plans méridiens verticaux primaires* de chaque œil considéré isolément. Ce sont ces plans qu'il s'agit d'observer dans leurs rapports avec les verticales de la tenture et non la perpendiculaire *au plan de regard*, laquelle, pour toute distance finie ou

mesurable du point de mire, ne se confond avec le plan vertical primaire de l'un ni de l'autre œil.

Lorsque le plan de regard binoculaire est dirigé directement en avant, dans le plan horizontal, qu'il se confond avec le méridien primaire horizontal de chaque œil, alors, en effet, la perpendiculaire audit plan de regard se trouve dans le plan vertical primaire de chaque œil. Mais le plan de regard changeant, ces rapports changent. Tant qu'il est dirigé exactement en avant, la perpendiculaire à ce plan, au point où elle rencontre la tenture verticale, fait avec elle le même angle que le plan de regard avec le plan de l'horizon. Cette ligne se dirige, dans l'espace, de *haut en bas et d'avant en arrière*; le plan qui la projetterait soit dans chaque œil, soit sur la muraille, plan qui passe par le centre de chaque œil, donnerait donc deux lignes se croisant, au point de fixation, avec la verticale et inclinées, *pour chaque œil*, de *haut en bas* et de *dedans en dehors*.

Tandis que c'est avec la *verticale même* que se confondent sur la tenture les intersections des plans verticaux qui, de chaque côté, contiennent la ligne de regard.

Deux plans verticaux se coupant, nécessairement, suivant une verticale.

Les lignes de regard se portent-elles maintenant dans l'obliquité et dans l'élévation, les rapports que nous venons de définir restent les mêmes; seulement les projections obliques de la perpendiculaire au plan de regard ne sont plus symétriques relativement à la verticale qui passe par leur point de concours.

C'est donc à tort que M. Helmholtz dédaigne les enseignements apportés par les inclinaisons apparentes des images accidentelles verticales sur la muraille transversale.

Mais c'est plus à tort, encore, que le savant professeur adopte ceux tirés des rapports avec les lignes horizontales de la tenture, des traces des méridiens primaires horizontaux, ou de leurs images accidentelles; — car c'est de ce côté qu'est l'illusion.

C'est ce qu'il va être aisé de démontrer :

Dans l'exposé de ces expériences et de leurs conclusions, M. Helmholtz désigne les images accidentelles dont il est ici

question, comme les *projections* des méridiens primaires sur le plan de la muraille transversale. Cette expression et l'idée qu'elle représente étaient justes dans le cas de la position initiale, où les plans méridiens primaires tombent sur le plan de la muraille à angle droit; elles ne le sont plus dans le cas de la position terminale pour laquelle ces plans coupent le plan transversal de la tenture sous une inclinaison quelconque plus ou moins considérable. Dans le système expérimental adopté, au lieu d'être de véritables projections, ces lignes sont de simples intersections de plans mutuellement inclinés, des traces obliques.

Or nous venons de démontrer, contrairement à l'appréciation de M. Helmholtz, que, dans ce système de projections obliques, tant que le méridien primaire vertical demeure vertical, sa trace sur le plan d'expérience (vertical lui-même) doit demeurer verticale.

Par contre, la trace sur le plan d'expérience du méridien primaire horizontal doit, si celui-ci conserve avec le méridien primaire vertical ses rapports de perpendicularité, se montrer, dans la position terminale, *inclinée* et dans le sens des observations précitées de M. Helmholtz.

Lors de l'élévation du regard, le méridien primaire horizontal ne demeure plus horizontal : il se meut, ou peut se mouvoir autour d'une horizontale, mais il n'est pas horizontal lui-même. Que devient alors son intersection avec le plan transversal de la muraille?

Si le regard demeure perpendiculaire à celle-ci, la trace du méridien primaire qui tourne autour d'une horizontale parallèle à la tenture, sera évidemment encore une horizontale. Ici point de contestation.

Mais si l'élévation est en même temps oblique, c'est autre chose, et le plan du méridien primaire horizontal, tournant autour d'une horizontale, ne couperait plus le plan de la tenture suivant une horizontale, mais bien suivant une droite dirigée *de bas en haut et d'avant en arrière* (1). Au point de fixation, elle rencontre

(1) On peut déterminer exactement cette dernière ligne : si on appelle α l'angle de la projection horizontale de la ligne du regard (l'angle latéral de M. Helmholtz)

une des horizontales de la tenture ; jusque là elle est nettement *au-dessous* de cette dernière.

On peut d'ailleurs représenter à l'esprit ce double résultat géométrique d'une manière plus simple encore :

Les deux méridiens primaires ou cardinaux de l'œil constituent un système de deux plans perpendiculaires, l'un horizontal, l'autre vertical, et dont la ligne d'intersection est, par exemple, dirigée exactement d'arrière en avant (ligne de regard).

Coupons ces deux plans par un troisième qui leur soit perpendiculaire à tous deux ou à leur commune intersection ; les traces des deux premiers plans sur le troisième représenteront exactement les angles dièdres des deux premiers plans, et toute variation qui surviendrait dans ces angles, si l'un de ces plans venait à tourner sur l'autre, sera fidèlement reproduite sur le plan sécant perpendiculaire à l'un et à l'autre.

Ce sera le système des *projections orthogonales*.

Qu'arrive-t-il, au contraire, dans le système des projections obliques employées par les expérimentateurs et traitées par eux comme des projections orthogonales?

Les choses s'y passent comme si le système des deux plans rectangulaires primitifs demeurant dans les mêmes rapports angulaires élevait simplement sa commune intersection, d'un certain nombre de degrés, en la faisant tourner autour d'un point fixe, dans le plan vertical dirigé d'arrière en avant ; et que, *secondement*, le plan de la muraille *toujours vertical*, s'inclinât latéralement d'un certain angle ouvert, par exemple, sur la droite (ce qui correspond à la direction du regard *en haut et à droite* qui a servi de texte à la démonstration).

avec la perpendiculaire à la muraille, d la longueur de cette perpendiculaire ou la distance du centre de rotation de l'œil à la muraille ; la charnière horizontale autour de laquelle se meut la ligne de regard coupe la ligne de terre ou le plan de la muraille à une distance du pied de la perpendiculaire égale à $d \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}$. C'est de cette distance sur le plan horizontal (ou sur la ligne de la terre) que part la trace sur le plan de la tenture du plan qui contient la ligne de regard (image accidentelle du méridien primaire horizontal) ; de là elle se dirige vers le point de fixation où elle rencontre une des lignes horizontales de la tenture, par rapport à laquelle elle est donc jusque-là évidemment inclinée de *bas en haut et d'avant en arrière*.

Il est visible que la trace du plan vertical primaire sur ce dernier plan sécant demeurerait verticale, et que les intersections de ce même plan avec le primaire horizontal seraient dirigées *d'avant en arrière et de bas en haut*; que l'angle mutuel de ces deux traces serait obtus du côté gauche de l'observateur, aigu du côté opposé. Et cependant les angles dièdres premiers seraient toujours demeurés des angles droits.

Il résulte, ce nous semble, de ces considérations purement géométriques que si dans le passage de la position primaire à la direction secondaire, le méridien vertical primaire demeure vertical ; si, en second lieu, le méridien primaire horizontal conserve avec le premier ses rapports de perpendicularité, la trace ou projection oblique du méridien vertical sur la muraille sera verticale; mais la traee du méridien primaire horizontal sera inclinée *de bas en haut et d'avant en arrière*, et d'autant plus, que pour une même inclinaison latérale, le point de fixation sera plus élevé.

En définitive :

Les conclusions formulées par M. Helmholtz au sujet des inclinaisons observées par lui dans les images consécutives des méridiens primaires, lors des directions obliques du regard, doivent être de point en point réformées. Contrairement à son opinion :

Les inclinaisons du méridien vertical doivent être eonsidérées comme *valables*, au degré près ; celles du méridien horizontal, au eontraire, absolument *réservées.* Dans ce système d'expérimentation, seule pourra nous renseigner exactement l'épreuve reprise au moyen des *projections orthogonales.*

§ 5. — Projections orthogonales.

Pour avoir la véritable *projection* des plans primaires de l'œil, aux deux limites du mouvement, il fallait, lors de la position terminale, se placer dans les mêmes conditions que lors de la position initiale, c'est-à-dire observer les traees ou images aeeidentelles desdits plans primaires sur un *plan perpendiculaire à la ligne de regard*, au point de fixation. A cet effet, si l'on dispose

un châssis plan, tendu des mêmes papiers que dans l'expérience initiale, *perpendiculairement à la direction du regard dans la direction terminale*, et qu'on recommence alors l'expérience, on trouve toujours les traces ou images accidentelles des méridiens primaires vertical et horizontal à angle droit, l'une sur l'autre et *en outre inclinées ou tournées*, *toutes deux*, *et du même angle*, dans le sens désigné par M. Helmholtz sous le nom de *sens direct*, celui auquel s'était arrêté Donders (1).

La méthode des projections orthogonales démontre donc, conformément à la proposition de Donders, et en opposition, *par conséquent*, avec celle d'Helmholtz, que dans le mouvement en haut et à droite :

Les méridiens primaires subissent tous deux une inclinaison dans le sens direct et de même grandeur l'une et l'autre, ainsi d'ailleurs que tous les méridiens intermédiaires.

Et il en est de même pour toutes les autres directions du regard : les résultats fournis à Donders par l'observation du méridien primaire vertical sont exacts pour toutes les directions.

L'expérience peut même être faite à moins de frais et plus simplement encore.

Au lieu des rubans en croix, prenons pour objet propre à déterminer les images persistantes une fenêtre bien éclairée ; au lieu de châssis disposés dans les positions extrêmes, perpendiculairement à la direction oblique du regard, projetons tout bonnement les impressions accidentelles sur le fond idéal que nous fournissent nos yeux fermés, en ayant soin de porter mentalement et avec persistance notre regard dans la direction oblique ci-dessus indiquée. Dans ces conditions encore, l'image de la fenêtre, dans son ensemble et avec ses croisillons, s'inclinera tout entière dans le sens précisé par Donders et *ne subira aucune déformation*. Les croisillons seront, ainsi que la fenêtre elle-même, parfaitement rectangulaires et tournés comme elle-même.

(1) Pour une inclinaison en haut et à droite déterminée par un angle ascensionnel (ou de latitude) de 18 degrés, et un angle latéral (ou de longitude) de 25 degrés, l'angle de rotation exécuté par les méridiens nous a paru mesurer de 6 à 10 degrés. Cette détermination angulaire est des plus délicates.

§ 6. — Conséquences déduites par M. Helmholtz de la prétendue inclinaison en sens inverse des deux méridiens primaires dans le regard oblique. Loi des rotations de Listing.

Nous pourrions nous arrêter ici, les épreuves orthogonales ne laissant point de place au doute. Cependant, comme le dissentiment expérimental dont nous venons de donner la solution a été l'origine et le fondement d'une théorie considérable, dominante en ce moment même, nous ne pouvons fuir le devoir de la considérer *en face*, c'est-à-dire, comme on va le voir, dans le système des *projections orthogonales*. Nous voulons et devons parler ici de la *loi des rotations*, dite de *Listing*.

Ne pouvant éviter d'être frappé de la dissonance introduite dans la mécanique oculaire par « *l'inclinaison en sens opposé des deux méridiens primaires de l'œil, lors du mouvement oblique du regard* », M. Helmholtz revient sur ce paradoxe, au moins apparent, en des termes qui indiquent suffisamment la voie dans laquelle il va entrer, à la suite de Listing :

« Comme les lignes horizontales et les lignes verticales présentent des rotations en sens contraire, on peut déjà prévoir, dit-il, après Listing, qu'il doit exister des *lignes intermédiaires* dont les images accidentelles sont *parallèles à la direction primitive*. »

Listing effectivement avait annoncé que ces lignes intermédiaires existent et qu'elles ne sont autres que la direction même que suivra la ligne de regard lors du mouvement oblique, et la perpendiculaire à cette ligne. C'est suivant ces deux directions, fixées à l'avance, que l'auteur disposera les objectifs destinés à la production des images consécutives persistantes, et ce seront ces images dont il s'agira de contrôler les directions dans leurs rapports avec des directions de repère prises sur la tenture de la muraille.

Se disposant par exemple à porter le regard en haut et à droite suivant une inclinaison semblable à celle des expériences précédentes, soit de 45°, M. Helmholtz place ses rubans colorés rouges en croix de saint André, et reprend les expériences ci-dessus

relatées, avec les images persistantes déterminées par ces impressions lumineuses, toujours sur la muraille transversale ; seulement les lignes de la tenture sont inclinées dans la direction que suivra le regard, et dans la direction rectangulaire, soit : 45 degrés sur les directions cardinales.

L'éminent auteur constate alors que *dans la plupart des cas expérimentaux*, il y a coïncidence de direction des images accidentelles à 45° et des lignes de la tenture également à 45 degrés. (Voyez sur la fig., page 356, les lignes *cc*, *dd*, position initiale, $\gamma\gamma$ et $\delta\delta$, position terminale.)

Nous avons répété ces expériences pour les inclinaisons de 25, 35 et 65 degrés, et n'y avons point relevé de dérogations sensibles : ces résultats peuvent être considérés comme à peu près exacts en fait.

Mais, après avoir reconnu l'exactitude de l'observation, devons-nous accepter la conclusion de l'auteur, quand il dit :

« Que ces deux lignes ne variant pas, les méridiens qu'elles représentent ne varient pas non plus dans le mouvement étudié »?

Aucunement : l'objection développée par nous à l'endroit des méridiens cardinaux a également ici toute sa valeur.

Les traces déterminées sur le plan de la muraille par les plans de projections obliques ne gardent point visiblement l'une à l'égard de l'autre, avec plus de constance que pour les plans cardinaux, les inclinaisons propres des plans qu'elles représentent : l'obscurité de leurs relations respectives réelles est même accrue par l'obliquité de leurs plans par rapport aux plans cardinaux. Pour avoir une donnée exacte et comparable, il faut encore ici avoir recours aux projections orthogonales.

Or, reprenant ces expériences dans ces nouvelles conditions, et *projetant les images sur un plan perpendiculaire à la ligne de vision, nous trouvons encore que les deux lignes en question, toujours à angle droit entre elles, conservent avec les traces des méridiens principaux leurs mêmes angles respectifs, et que tout l'ensemble tourne dans le sens direct comme l'avait formulé Donders.*

§ 7. — Conclusion.

Il ne peut donc plus être question de l'existence d'un plan particulier de l'œil (celui qui contient à la fois les deux lignes de regard dans leurs positions primaire et secondaire), et qui serait, lors des mouvements obliques, exempt des torsions ou inclinaisons imposées à tous les autres méridiens.

La discussion pourrait être close au seuil des expériences qui précèdent.

Cependant, au point de vue des enseignements généraux à recueillir pour le bien de la méthode, il n'est pas indifférent de rechercher ici l'origine de cette fausse direction suivie dans ce cas par la science, et la science la plus autorisée.

En présence de ces inclinaisons du méridien primaire vertical dans un sens, du méridien horizontal dans le sens contraire, et de ce qu'une telle constatation pouvait avoir de paradoxal, les auteurs de la nouvelle théorie avaient considéré « comme naturel de présumer qu'entre les lignes horizontales et verticales, il existe, pour chaque mouvement de l'œil, une direction intermédiaire où l'image accidentelle demeure parallèle à son objet ».

L'expérimentation avait semblé sanctionner cet aperçu. Mais, d'après l'observation du tableau plus exact fourni par les projections orthogonales, il est visible que les premiers expérimentateurs avaient méconnu le rôle joué, dans ces apparences, par l'obliquité des projections et l'avaient à tort attribué à l'évolution même des mouvements oculaires.

Les résultats obtenus dans le système des projections orthogonales montrent suffisamment que les phénomènes observés dans la méthode oblique doivent être considérés comme les conséquences exclusives de la méthode, et non comme la représentation exacte des mouvements réels. La constance de l'inclinaison des images accidentelles dans la direction intermédiaire de Listing tient sans doute à une sorte de compensation entre les inclinaisons extrêmes et contraires des méridiens cardinaux amenées par l'obliquité du plan de projection.

En résumé, ces vérifications expérimentales ont le double effet de supprimer, non point de l'histoire, mais du tableau de la science, *la loi dite des rotations de Listing*; mais, en revanche, de confirmer les lois établies par Donders et sapées par les propositions du premier. Cependant, comme les erreurs d'un esprit droit sont rarement à repousser tout d'un bloc, qu'elles ne sont guère sans avoir quelque raison d'être plausibles, il n'est que juste de creuser les propositions de l'auteur allemand pour en retirer une idée ou un fait qui doivent leur survivre. D'autant plus qu'on en peut extraire aussi une leçon de méthode.

La proposition de Listing est peut-être, comme on va le voir, bien moins la fille légitime de l'observation expérimentale, que la conséquence d'une vue inductive, justifiable à bien des égards, mais portant en elle ce défaut si insidieux auquel succombent les esprits les plus justes et qui caractérise trop souvent l'induction.

L'expérience et la suggestion de Listing sur ladite direction intermédiaire sont, en effet, tout aussitôt suivies de la proposition qui a reçu son nom et qu'il formule comme il suit :

« Lorsque la ligne de regard passe de sa position primaire à une position quelconque, l'angle de torsion de l'œil, dans cette seconde position, est le même que si l'œil était venu dans cette position en tournant autour d'un axe fixe, perpendiculaire à la première et à la seconde position de la ligne de regard. »

Cette proposition nous eût paru gagner en clarté à être simplement exprimée comme il suit :

« Lorsque le regard passe d'une position à une autre, il peut être considéré comme ayant tourné, par simple rotation, *autour d'un axe fixe perpendiculaire au plan qui contient les deux lignes de regard dans leurs positions extrêmes.* »

Ainsi exprimée, cette proposition eût frappé aussitôt l'esprit en ce qu'elle eût reproduit une loi de la mécanique rationnelle, faisant parcourir à la ligne de regard, de la première position à la seconde, *le plan du grand cercle* qui les contient l'une et l'autre, c'est-à-dire réalisant le mouvement cherché, par *le plus court chemin*, ou avec le minimum d'effort. Cette proposition

n'est autre que le principe de la *moindre action*, dans les transmissions de force au moyen d'organes fixes et inextensibles. Il eût été assurément satisfaisant de le voir complétement réalisé par la nature; mais l'inclinaison incontestable dans un sens donné de tout le système, démontrée par les projections orthogonales, force à reconnaître qu'il faut renoncer à une satisfaction aussi entière ou plutôt aussi simple.

La fixité de l'axe de rotation fait ici manifestement défaut, de peu sans doute; et le mouvement se rapproche beaucoup de celui qui serait formulé par loi de Listing ou du minimum d'action; mais enfin il y a écart, et écart mesurable. Cet écart est dû sans doute à la flexibilité, à la mobilité des éléments organiques qui servent de leviers, aux irrégularités obligées, sans doute, qui s'observent dans la disposition des forces (muscles) appliquées au globe oculaire.

Aussi, si nous sommes contraints d'abandonner la loi même, regrettable assurément, de Listing, nous devons reconnaître que cette loi doit cependant représenter le plan de la nature, mais altéré dans son exécution par les imperfections obligées de l'organisme.

Mais par contre, et comme compensation amplement suffisante, nous pouvons nous reposer avec confiance dans la loi de Donders, loi si fertile en déductions physiologiques et pathologiques, qu'on peut la considérer comme une des plus brillantes conquêtes de la physiologie oculaire moderne.

Nous conclurons donc cette discussion par la formule suivante :

« Lors des mouvements obliques du regard, à l'horizon, l'axe de rotation du globe n'est point fixe; le méridien primaire vertical s'incline en portant du côté du point de mire l'extrémité de son diamètre la plus voisine de cette direction; tous les autres méridiens s'inclinent avec lui dans le même sens et du même nombre de degrés. »
